METÓDA URČENIA VLHKOSTI ZNÍŽENEJ DOSTUPNOSTI PÔDNEJ VODY PRE RASTLINY, PRI KTOREJ DOCHÁDZA K ZNIŽOVANIU RÝCHLOSTI TRANSPIRÁCIE

Ing. Havrila Ján

Príspevok obsahuje návrh metódy určenia hydrolimitu „vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny" (VZD). Je to kritická vlhkosť pôdy, pri ktorej sa začína znižovať rýchlosť transpirácie rastliny, v dôsledku znižovania sa vlhkosti pôdy. Dôležitý „hydrolimit" ktorým sa takáto vlhkosť pôdy označuje je spravidla nazývaný ako „bod zníženej dostupnosti", po anglicky „point of limited soil water availability", by mal ohraničovať dolnú hranicu intervalu vlhkostí pôdy, ktorá je „ľahko dostupná" pre rastliny. Tu opísaná metóda určenia tejto vlhkosti je založená na interpretácii závislosti medzi intenzitou pomernej transpirácie a priemernou vlhkosťou pôdy. Charakteristiky režimu vody v pôde (chody obsahov vody a vlhkostného potenciálu pôdy) ako aj sezónne chody a úhrny transpirácie (evapotranspirácie) boli vypočítané pomocou matematického modelu HYDRUS-ET pre lokalitu Most pri Bratislave, (Experimentálna základňa Meliorácie š.p.).

Kľúčové slová: vlhkosť zníženej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny, režim vody v pôde, hydrofyzikálne charakteristiky, obsah vody v pôde, hydraulická vodivosť, transpirácia, matematické modelovanie, kritická vlhkosť pôdy

Assessment method of moisture of limited soil water availability to plants, when intensity of transpiration starts to decrease. *This contribution describes the method of assessment soil moisture limited availability when intensity of transpiration starts to decrease due to decrease of soil moisture. Important „hydrolimit" by which is this soil moisture marked is called as „point of limited soil water availability". This point limist bottom boundary interval of soil moisture which is „easy available" for plants. Here described method of assessment of this soil moisture is established on interpretation between relative transpiration rate and average soil moisture. Characteristics of soil water regime (courses of soil water content and soil water potential) and also seasonal courses and total tranpiration (evapotranspiration) were computed by mathemathical model HYDRUS-ET at the locality Most pri Bratislave, (Experimental base of Melioration s. c.).*

Key words: soil moisture limited availability, soil water regime, hydrophysical characteristics, soil water content, hydraulic conductivity, transpiration, mathematical modelling, critical soil moisture

---

ÚVOD

Koncepcia dostupnosti vody z pôdy pre rastliny začala vznikať vtedy, keď bolo potrebné zavlažovať porasty v podmienkach ohraničeného množstva disponibilnej vody. Už najstaršie historicky známe civilizácie používali závlahové systémy, aby rastliny mohli vytvoriť úrodu, pretože tieto lokality boli v oblastiach s relatívne malým úhrnom zrážok počas vegetačného obdobia. Kvantitatívny charakter táto koncepcia získala až v 20. storočí, keď obmedzené zásoby vody vyžadovali racionálne hospodárenie s vodou. Prvá koncepcia Veihmeyera a Hendricksona (1927) bola založená na rovnakej dostupnosti pôdnej vody pre rastliny v širokom intervale vlhkostí od tzv. vlhkosti trvalého vädnutia (permanent wilting point) až po vlhkosť poľnej vodnej kapacity (field capacity). Vlhkosť poľnej vodnej kapacity (PVK) nie je fyzikálne jasne definovaná. Používajú sa definície ako napr. „PVK charakterizuje množstvo vody v pôde, ktoré v nej zostane po odtečení gravitačnej vody z pôdneho profilu…" (Hydrológia…, 2002). O niečo lepšie je to s pojmom bod trvalého vädnutia (permanent wilting point). Táto je definovaná ako vlhkosť pôdy, pri ktorej rastlina trvalo a nezvratne vädne. Zodpovedá vlhkostnému potenciálu vody v pôde −1.5 MPa. Táto definícia je založená na pojme „koeficient vädnutia" (wilting coefficient) Briggsa a Shantza a bola publikovaná Veihmeyerom a Hendricksonom (1927). Táto definícia je založená na rozsiahlom empirickom materiáli. V nádobách boli pestované rastliny pri dostatočnom obsahu vody a živín, v určitom štádiu rastliny prestali byť zavlažované. Po objavení sa príznakov vädnutia bola zisťovaná priemerná vlhkosť pôdy v nádobe. Táto vlhkosť bola nazvaná vlhkosťou trvalého vädnutia. Reprodukovateľnosť tohoto postupu bola dobrá a hodnoty vlhkosti pôdy boli v rámci chýb merania, ich vlhkostný potenciál zodpovedal hodnote −1.5 MPa. Pri

nedodržaní tohoto postupu budú vlhkosti pôdy zodpovedajúce trvalému vädnutiu rastlín iné. Pri pomalej adaptácii boli pozorované zelené nevädnúce rastliny aj pri hodnote vlhkostného potenciálu pôdy –3.9 MPa (Jordan, Ritchie, 1971).

Súčasné poznatky o procese tvorby biomasy hovoria o tom, že rastlina začína znižovať intenzitu transpirácie skôr, ako je dosiahnutý bod trvalého vädnutia (tým sa myslí vlhkosť, alebo vlhkostný potenciál pôdy). Vlhkosť pôdy, alebo jej vlhkostný potenciál, pri ktorom sa rýchlosť transpirácie, alebo (ako sa to často vyjadruje) dostupnosť vody pre rastliny, znižuje býva označená ako „bod zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny“, (point of limited availability). Exaktná definícia tohoto pojmu neexistuje, sú k dispozícii približné charakteristiky tohoto pojmu, ktoré sú potrebné pre praktické účely. Ide o to, že pri dosiahnutí tejto priemernej vlhkosti pôdy je potrebné začať pôdu zavlažovať. Tu sú dve z dostupných definícií:

Bod zníženej dostupnosti *(θ_{zd}, w_{zd})* vody pre rastliny charakterizuje takú vlhkosť pôdy, pri ktorej sa podstatne znižuje pohyblivosť pôdnej vody, a ktorá sa už začína nepriaznivo prejavovať na raste rastlín, [Velebný a kol., 2000]. Zodpovedajúca hodnota sacieho tlaku sa pohybuje v dosť širokom intervale vlhkostných potenciálov pôdy (pF = 3.0 - 3.3). Prakticky sa uvažuje, že

$$\theta_{zd} = \theta_v + 0{,}6(\theta_{pk} - \theta_v) \qquad (1)$$

kde θ_v je vlhkosť trvalého vädnutia (objemová), θ_{pk} je vlhkosť zodpovedajúca poľnej vodnej kapacite.

Alebo: Bod zníženej dostupnosti, je hydrolimit, vlhkosť (množstvo vody) alebo vlhkostný potenciál vody v pôde, pri ktorej sa výrazne znižuje dostupnosť vody v pôde pre rastlinu, je spravidla viazaná na metódu určenia, nie je exaktne definovaná. Najčastejšie sa vyjadruje ako časť hydrolimitu (60%) poľnej vodnej kapacity (Hydrológia.., 2000).

Z toho, čo bolo povedané je zrejmé, že horeuvedené definície charakterizujú tzv. „bod zníženej dostupnosti“ len ako vlastnosť pôdy. Intenzita odberu vody koreňovými systémami sa približne rovná intenzite transpirácii rastliny (porastu), a teda ak rastlina transpiruje intenzitou, ktorá môže byť označená ako intenzita potenciálnej transpirácie, nie je ešte limitovaná nedostatkom vody v pôde, a teda nie je dosiahnutý hydrolimit „bod zníženej dostupnosti“. Z globálnejšieho hľadiska, však intenzita transpirácie je ovplyvnená vlastnosťami celého systému PRAT.

Cieľom tejto práce je navrhnúť metódu určenia charakteristiky „vlhkosti“ alebo „potenciálu vody v pôde“, pri ktorých dochádza k zníženiu produkcie biomasy, teda určiť racionálnu definíciu toho, čo sa označuje ako „vlhkosťpôdy, pri ktorej sa znižuje príjem vody rastlinou“.

POUŽITÁ METÓDA A MATERIÁL

Matematický model

Charakteristiky režimu vody v pôde ako aj sezónne chody a úhrny transpirácie (evapotranspirácie) boli vypočítané pomocou matematického modelu HYDRUS-ET. Model HYDRUS-ET reprezentuje softwarový program pre simuláciu pohybu vody, tepla a roztokov v jednodimenzionálnom prostredí s premenlivou nasýtenosťou pôdneho profilu v čase. Model je vyvinutý v U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Riverside, California, [Šimůnek et al., 1997]. Pozostáva z podprogramov, ktoré sa spolupodieľajú na pohybe vody, tepla a rozpustených látok v pôde. Procedúry pre výpočet evaporácie, transpirácie a intercepcie zo zrážok sú prebraté z počítačového programu Global, [Majerčák, Novák, 1994]. Modely týchto typov sú užitočným nástrojom pre extrapoláciu informácií z limitovaného počtu poľných experimentov pri rôznych pôdnych, porastových a klimatických podmienkach, ako aj pri rôznom spôsobe obrábania pôdy a úpravách vo vodnom hospodárstve. HYDRUS-ET rieši numericky Richardsovu rovnicu pre premenlivo – nasýtené prúdenie vody v pôde a konvektívno-disperznú rovnicu pre prenos tepla a roztokov v pôde. Deterministické riešenie týchto klasických rovníc sa môže použiť na predpovedanie pohybu vody a roztokov v nenasýtenom pórovitom prostredí a pre analýzu poľných experimentov. Richardsova rovnica vychádza z predpokladov, že plynná fáza nehrá dôležitú úlohu v procese prúdenia tekutín, a že prúdenie vody v pôde vzhľadom na termálny gradient môže byť zanedbané. Richardsova rovnica (2) má tvar :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[k\left(\frac{\partial h}{\partial z}\right) + \cos\alpha \right] - S \qquad (2)$$

kde h je vlhkostný potenciál pôdy [cm], θ je objemová vlhkosť pôdy [$cm^3.cm^{-3}$], t je čas [s], z je hĺbka pôdneho profilu [cm], (kladná smerom nahor), α je uhol medzi smerom prúdenia vody v pôde a vertikálnou osou [°], S je intenzita odberu vody koreňmi rastlín [$cm^3.cm^{-3}.s^{-1}$] a k je nenasýtená hydraulická vodivosť [$cm.s^{-1}$].

V rovnici prúdenia je zahrnutý aj odber vody koreňmi rastlín. Oblasť prúdenia vody v pôde môže byť zložená aj z viacerých vrstiev pôdy. Pri časti prúdenia vody v nenasýtenom pórovitom prostredí model ráta s počiatočným rozdelením vlhkosti a vlhkostného potenciálu v pôde, taktiež s okrajovými podmienkami tokov v pôde, atmosférickými podmienkami, ako aj s okrajovou podmienkou voľnej drenáže. Numerické riešenie je založené na Galerkinovej úprave metódy konečných prvkov. Detailné inštrukcie o použití tohto modelu sú v [Šimůnek et al., 1997].

Lokalita

Lokalita Most pri Bratislave sa nachádza 5.5 km severne od Bratislavy (Obr.1) a je lokalizovaná na 48° 8´ severnej zemepisnej šírky a 17° 16´ západnej zemepisnej dĺžky. Lokalita je situovaná na severozápadnom okraji Žitného ostrova. Podľa systému FAO je pôda klasifikovaná ako černozem. Podľa zrnitostného rozboru je pôda klasifikovaná ako hlinitopiesočnatá. Pod hĺbkou 160 cm sa vyskytuje hrubá vrstva štrku Dunajského pôvodu. Hladina podzemnej vody je v hĺbke 6-8 m, čo znamená, že nezasahuje do pôdneho profilu koreňovej zóny rastlín kapilárnym vzlínaním. Pôdny profil je relatívne homogénny. Na území sa pestujú kultúrne poľnohospodárke plodiny ako kukurica, jačmeň, pšenica a typické z tejto skupiny.

Odbery do Kopeckého valčekov o objeme 100 cm^3 boli vykonávané s trojnásobným opakovaním pre pôdu s porastom kukurice. Vzorky boli odobraté z 33 vertikál v 10, 20, 30, 50, 70 a 100 cm hĺbke pôdneho profilu. Následne nato boli vyhodnocované v laboratóriu. Meteorologické údaje sú z najbližšej meteorologickej stanice v blízkosti Mostu pri Bratislave. Priemerné zrážky počas rokov 1971-2000 a roku 2003 rokov za VO sú 368.9 mm. Priemerné zrážky počas 31 rokov v období transpirácie porastu kukurice sú 254.4 mm. Obdobie transpirácie trvá od začiatku rastu rastliny až po dobu fyziologického zrenia rastliny. V našom prípade je to od 5. mája po 7. – 16. septembra. Deň fyziologického zrenia je určený v závislosti na klimatických podmienkach (dĺžka trvania slnečného svitu, teplota vzduchu, zrážky, tlak vodných pár) záujmového územia. Priemená teplota vzduchu za 31 rokov počas VO je 15.3 °C. Priemená teplota vzduchu počas obdobia transpirácie za pozorované obdobie je 18.3 °C, čo znamená, že táto lokalita je vhodná na pestovanie kukurice.



Obr. 1. Umiestnenie experimentálnej poľnej základne Meliorácie š.p. pri obci Most pri Bratislave.

Fig. 1. Site of Experimental field base of Melioration s. c. close to Most pri Bratislave.

Vstupné údaje

Ako vstupné údaje do modelu H – ET sú potrebné :
Meteorologické údaje : priemerná denná teplota vzduchu, denné zrážkové úhrny, dĺžka trvania slnečného svitu, tlak vodných pár, rýchlosť vetra (v 2 m výške).
Charakteristiky vegetačného pokryvu : výška porastu, index listovej pokryvnosti (LAI), hĺbka zakorenenia, koeficient drsnosti porastu, albedo.

Pôdne charakteristiky : priemerné hodnoty vlhkosti v konkrétnych hĺbkach hlinitopiesočnatého pôdneho profilu porasteného kukuricou. Vlhkostný pofil meraný 17.3. 2003 je počiatočným vstupom do modelu. Vlhkostná retenčná čiara (VRČ) je zadaná vysušovacou vetvou retenčnej čiary a je určená zo vzoriek pôdy odobratých zo dňa 17.3.2003 z vrchnej 1 m vrstvy pôdneho profilu pod porastom kukurice.

Nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy sú vypočítané podľa vzťahov Genuchtena – Mualema.
Model bol validizovaný a porovnaný s rokom 2003, v ktorom boli uskutočnené poľné merania a odbery vzoriek pôdy. Odbery boli realizované v dvojtýždňových intervaloch do mesiaca jún a s mesačným opakovaním v mesiacoch júl až október počas vegetačného obdobia (VO) od 17.3. až do 20.10.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledkom matematického modelovania dynamiky vody v pôde modelom Hydrus – ET, tak, ako boli opísané v predchádzajúcej časti - sú denné hodnoty tzv. „charakteristík režimu vody v pôde“, čiže priemerné denné hodnoty vlhkosti pôdy a vlhkostného potenciálu pôdy, pre vybrané hĺbky pod povrchom pôdy. Z nich je možné získať čiary rozdelenia vlhkostí (vlhkostné profily) a vlhkostných potenciálov pôdy pod jej povrchom počas modelovaného dňa. Z týchto hodnôt je možné vypočítať tiež obsah vody v ľubovolnej vrstve pôdy ako aj sezónne chody týchto veličín. Na obr.(2), ako ilustratívny príklad sú uvedené sezónne chody objemovej vlhkosti pôdy θ v hĺbke 50 cm pod povrchom pôdy, pod porastom kukurice, pre vybrané vegetačné obdobia. Kvôli prehľadnosti sú vzdialenosti medzi bodmi na osi času 5 dní. Kvôli jednoduchšej orientácii, sú na obrázku aj hodnoty hydrolimitov pôdy (vlhkosť bodu vädnutia, BV, vlhkosť zníženej dostupnosti vody pre rastliny, BZD a vlhkosť pôdy, zodpovedajúca poľnej vodnej kapacite, PVK. Chody vlhkostí pôdy na obrázku ilustrujú predovšetkým veľkú variabilitu chodov vlhkostí. V mokrom roku 1995 bola dokonca vlhkosť pôdy uprostred vegetačného obdobia vyššia ako vlhkosť PVK, čo je zriekavý jav.

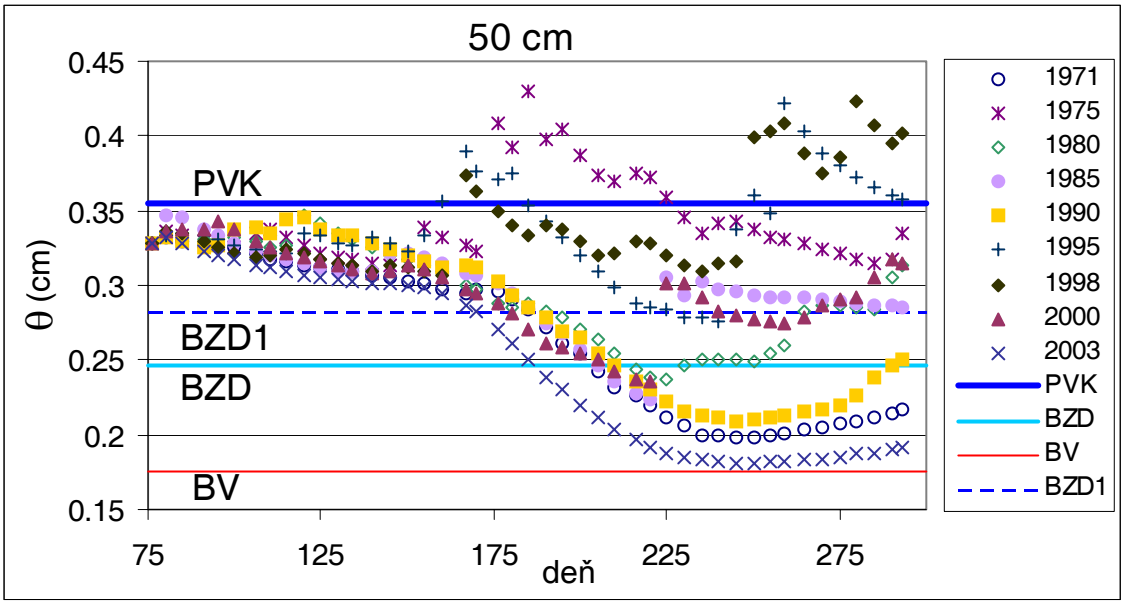
Pomernú transpiráciu, ako index zabezpečenosti porastov vodou publikoval už pred rokmi Budagovskij a Grigorieva (1991) ako pomer intenzity (alebo úhrnu) transpirácie E_T a potenciálnej transpirácie E_{TP} :

$$\eta_p = E_T / E_{TP} \qquad (6)$$

Tento pomer charakterizuje zabezpečenosť porastu vodou a výraz

$$\eta_d = 1 - \eta_p \qquad (7)$$

môže byť označený ako index sucha daného porastu.



Obr. 2. Sezónne chody objemovej vlhkosti pôdy Θ [-] v hĺbke 50 cm pod porastom kukurice vypočítané modelom HYDRUS – ET. Chody vlhkostí sú uvedené pre desať sezón s časovým intervalom 5-dní v jednotlivých sezónach. V obrázku sú naznačené základné hydrolimity BV, BZD, VZD = BZD1 = θ_{k1}, PVK, (Most pri Bratislave).

Fig. 2. Seasonal courses of water content Θ [-] in 50 cm depth belowsoil surface with maize computed by model HYDRUS – ET. Courses ofsoil water content are presented for ten season with 5 days time interval in every season. In figure are marked basic hydrolimits BV – wilting point, BZD – point of limited availability, VZD = BZD1= θ_{k1} – Water content of limited availability, (critical soil moisture), PVK – field capacity.

Význam horeuvedených kritérií je predovšetkým v tom, že známy a akceptovaný súboru poznatkov empirického charakteru, hovorí, že produkcia biomasy (úroda) je priamo úmerná úhrnu transpirácie porastu za vegetačné obdobie (Hanks, Hill, 1980, Vidovič, Novák, 1987). Táto závislosť platí pre konkrétnu lokalitu s danými agronomickými a agrotechnickými vlastnosťami a samozrejme, pre konkrétnu plodinu. Preto, intenzita transpirácie a jej úhrn za vegetačné obdobie je dôležitou charakteristikou procesu produkcie biomasy.

Ďalším krokom musí byť vyjadrenie intenzity transpirácie v závislosti na vlhkosti koreňovej oblasti pôdy (alebo na obsahu vody v pôde, prípadne na hodnote vlhkostného potenciálu pôdy). Ide tu o určenie intervalu horeuvedených veličín, v ktorých sa transpirácia v závislosti na nich znižuje, lebo táto oblasť vlhkosti pôdy je kritická z hľadiska jej vplyvu na produkciu biomasy.
Z praktického hľadiska je zrejmé, že pre takéto úvahy sa najviac hodí veličina objemovej vlhkosti pôdy, z ktorej sa ľahko určí aj obsah vody v pôde. Závislosť medzi evapotranspiráciou (ale aj transpiráciou) a vlhkosťou pôdy $E_T = f(\theta)$, sa často používa pri výpočte transpirácie z hodnôt potenciálnej transpirácie a bola získaná meraním (Denmead, Show, 1962, Feddes et al., 1978, Novák, 1990) a vypočítaná pomocou modelov (Novák, Matejka, Hurtalová, 1995). Táto závislosť je charakterizovaná tromi oblasťami vlhkosti pôdy: oblasť medzi vlhkosťou vodou nasýtenej pôdy a tzv. „kritickou vlhkosťou pôdy“ $\langle \theta_s, \theta_{k1})$, kedy obsah vody v definovanej vrstve pôdy (spravidla metrovej) nelimituje transpiráciu. Potom je to oblasť medzi $(\theta_{k1}, \theta_{k2})$, kde sa s klesajúcou vlhkosťou pôdy rýchlo znižuje aj rýchlosť transpirácie, aby pri priemernej vlhkosti koreňovej vrstvy pôdy θ_{k2} dosiahla hodnotu blízku nule.

Množinu bodov, ktorá charakterizuje závislosť medzi relatívnou transpiráciou a vlhkosťou vrchnej, metrovej vrstvy pôdy $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, vypočítanú pomocou modelu HYDRUS – ET, pre 31vegetačných období s porastom kukurice je znázornených na obr.(3). Hodnoty reprezentujú priemerné denné hodnoty zobrazených veličín. Faktom je, že pri výpočte tejto závislosti matematickým modelovaním, bola transpirácia vypočítaná z hodnôt potenciálnej transpirácie s využitím závislosti $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, ktorej parametre boli vypočítané s využitím vlastností pôdy. To znamená, že výpočtom sme získali len informácie o tom, ako sa a posteriori získaná závislosť $E_T / E_{TP} = f(\theta)$ ovplyvnila inými vlastnosťami prostredia, ktoré neboli do úvah zahrnuté. Táto závislosť, tvorená súborom bodov, umožňuje určiť pomernú transpiráciu v závislosti na priemernej vlhkosti koreňovej oblasti pôdy.
Horeuvedená závislosť umožňuje interpretáciu hydrolimitu nazvanej „bod zníženej dostupnosti vody pre porast", alebo „vlhkosť zníženej dostupnosti" (water content of limited availability of soil water for plants). Je to vlhkosť pôdy, zodpovedajúci jej kritickej vlhkosti, kedy transpirácia začína klesať pod hodnotu potenciálnej transpirácie. Takto je hodnota vlhkosti BZD fyzikálne a fyziologicky jasne definovaná. Môže byt vyjadrená rovnicami (Novák, 1990):

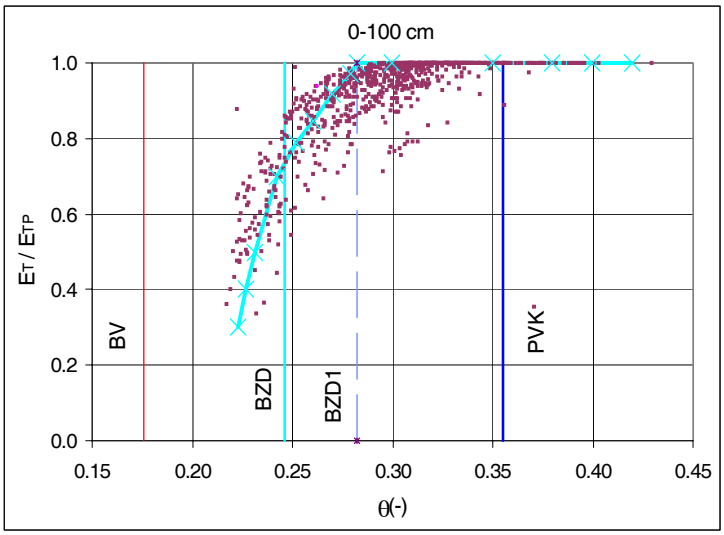
$$\theta_{k1} = \frac{1}{\alpha} + \theta_{k2} \qquad (8)$$

$$\theta_{k2} = 0.67 \,.\, \theta_v \qquad (9)$$

$$\alpha = 2.75 + 12.8 \,[\, \exp(-0.5\,(E - 1))] \qquad (10)$$

kde θ_{k1} , θ_{k2} sú tzv. kritické vlhkosti pôdy, ktoré ohraničujú z oboch strán intervalu vlhkosti pôdy oblasť klesajúcej rýchlosti transpirácie, θ_v je vlhkosť trvalého vädnutia rastlín (Kutílek, Nielsen, 1992). Súčiniteľ α je funkčne závislý na intenzite transpirácie (alebo evapotranspirácie) E. Z toho ale tiež vyplýva, že tá hodnota vlhkosti pôdy, označovaná ako „vlhkosť bodu zníženej dostupnosti vody pre rastliny", alebo skrátka bod zníženej dostupnosti nie je len vlastnosťou pôdy, ale aj vlastnosťou zvyšku systému pôda – rastlina – atmosféra. Ovplyvňujú ju predovšetkým vlastnosti atmosféry, ktoré podmieňujú proces transpirácie. Ako vyplýva z analýz citlivosti vplyvu systému pôda – rastlina – atmosféra (PRAT) na proces výparu reprezentovaný rovnicou Penmana – Monteitha (Monteith, 1956) vykonanej Novákom, et al. (1997), z ktorej vyplýva, že najvýraznejší vplyv z meteorologických vlastností atmosféry má radiačná bilancia, nasledovaná teplotou vzduchu. Teplota vzduchu je však štatisticky významne korelovaná s radiačnou bilanciou.

Z horeuvedeného teda vyplýva, že hydrolimit VZD, definovaný tu navrhnutým spôsobom, nie je len vlastnosťou pôdy, ale celého komplexu charakteristík pôda – rastlina – atmosféra.
Navrhnutá metóda určenia „vlhkosti zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny" (VZD) môže byť ilustrovaná na obr. (3), z čoho vyplýva, že jej hodnota je $\theta_d = \theta_{k1} = 0.28$, hodnota $\theta_{zd} = 0.246$ bola určená štandardným, ale približným postupom podľa rovnice (1). Platí to samozrejme pre pôdmienky a pôdu z lokality Most pri Bratislave. Nejde ani tak o rozdiely v hodnotách BZD a VZD, ale o to, že tu opísaná metóda určenia VZD je jednoduchá (rov.8 – 10) a jednoznačne fyzikálne interpretovateľná.



Obr.3. Závislosť medzi relatívnou transpiráciou a vlhkosťou vrchnej, metrovej vrstvy pôdy $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, vypočítanú pomocou modelu HYDRUS – ET, pre 31 vegetačných období s porastom kukurice v rokoch 1971-2000 a v roku 2003. V obrázku sú naznačené základné hydrolimity BV, BZD, VZD = BZD1 = θ_{k1}, PVK, (Most pri Bratislave).

Fig.3. Relative transpiration in relation tof soil moisture content of the upper 1 m soil layer $E_T / E_{TP} = f(\theta)$, computed by model HYDRUS – ET, during 31 vegetation seasons with maize crop in years 1971-2000 and in year 2003. In figure are marked basic hydrolimits BV – wilting point, BZD – point of limited availability, VZD = BZD1= θ_{k1} – critical soil moisture, PVK – field capacity.

ZÁVER

Bola navrhnutá metóda určenia významného hydrolimitu – vlhkosti zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastliny (VZD) θ_d, ktorá charakterizuje priemernú vlhkosť vrchnej (koreňovej) metrovej vrstvy pôdy, pri ktorej dochádza k zníženiu intenzity transpirácie a tým aj k zníženiu produkcie biomasy.

VZD je možné vypočítať pomocou rovníc (8 –10), do ktorej vchádzajú známe, alebo ľahko merateľmé charakteristiky pôdy, ako je vlhkosť trvalého vädnutia (θ_v) a priemerná denná intenzita transpirácie (alebo evapotranspirácie).

Na rozdiel od bežne používaného hydrolimitu „bod zníženej dostupnosti vody v pôde pre rastlinu“ (BZD), vyjadreným rovnicou (1), je VZD fyzikálne jednoznačne interpretovatelná.

Takto určenú hodnotu VZD -θ_d je možné použiť ako indikátor potreby závlahy, aby bola zabezpečená potenciána úroda.

Literatúra

Antal, J., 1994 : Ekologické opatrenia v meliorániách. Rozborová úloha. VŠP, Agronomická fakulta, Nitra, 65 s.

Benetin, J., Šoltész, A., Štekauerová, V., 1985. Bilančný matematický model na podrobnú analýzu časovej variability zložiek vodného režimu pôd. Vodohosp. čas., 33, s. 585–609.

Benetin, J., Šoltész, A., 1988 : Hydrologické charakteristiky vodného režimu pôd a ich výpočet. In : Agromelio. Výskumné centrum pôdnej úrodnosti Bratislava, Nitra str. 12-19.

Denmead, O. T., Shaw, R. T., 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological condition. Agron. J., 54, 385-390.

Feddes, R. A., Kowalik, P., Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, Pudoc.

Fulajtár, E., 1985 : Hodnotenie a klasifikácia vodného režimu pôd. Klasifikácia a hodnotenie pôdnych režimov. Zb. prednášok z 2. Vedeckého seminára.,Bratislava, s. 54-68.

Hydrológia, terminologický výkladový slovník. MŽP SR, Bratislava, 2002, s.12.

Jordan, W. R., Ritchie, J. T., 1971. Influence of soil water stress on evaporation, root absorption and internal water status of cotton. Plant Physiol. 48, 783-788.

Kutílek, M., 1978 : Vodohospodárska pedologie, Praha, SNTL-ALFA.

Kutílek, M., Nielsen, D. R., 1994. Soil hydrology. Cremlingen - Destedt, Germany, Catena Verlag.

Majerčák, J., Novák, V., 1994. Global, one-dimensional variable saturated flow model, including root water uptake, evapotranspiration structure, corn yield, interception of precipitations and winter regime calculations. Research report, 75 pp., Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia.

Novák, V., 1990. Opredelenie kritičeskich vlažnostej počvy dlja summarnovo isparenia. Počvovedenie, č.2, 137-141.

Novák, V., 1995. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. VEDA, Bratislava.

Novák, V., Matejka, F., Hurtalová, T., 1995. Modelovanie zložiek evapotranspirácie poľných plodín a verifikácia výsledkov. J. of Hydrol. Hydromech. VČ 45, str. 38-45.

Novák, V., Majerčák, J., 1992. Simulation of the soil – water dynamics in the root zone during the vegetation period : II. The course of state variables of soil water below the maize canopy. J. Hydrol. Hydromech., 40, 380 – 397.

Novák, V., Gallová C., 1998. Mathematical modelling of annual soil water content changes and sensitivity of the model to soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. Hydromech., 6, 432-446.

Penman, H. L., 1956. Evaporation: An introductory survey. Neth. J. Agric. Sci, 4, 9-29.

Šimůnek, J., K. Huang., M. Šejna, Th. M. van Genuchten, J. Majerčák, V. Novák, and J. Šútor. 1997. The HYDRUS -ET software package for simulating the one - dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably - Saturated media. Version 1.1. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava.

Šútor, J.,1999. Water storage monitoring in the aeration zone of soil and its interpretation. Pollution and water resources. Columbia university seminar proceedings. Volume XXX, s.152-159.

Šútor, J., Štekauerová, V., 2000 : Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova. Ústav hydrológie SAV, Bratislava.

Vidovič, J., Novák, V., 1987 : Závislosť úrody kukurice na evapotranspirácii porastu. Rostlinní výroba, 33, č.6, . 663-670.

Veihmeyer.F.J., Hendrickson, A.J. 1927. Soil moisture conditions in relation to plant growth. Plant Physiol., 2,71 –78.

Velebný, V., Novák, V., a kol., 2000 : Vodný režim pôdy. STU, Bratislava.

Autor

Ján Havrila, PhD. student, Institute of Hydrology SAV, Račianska 75, 831 02 Bratislava 38, Slovak Republic
mailto:havrila@uh.savba.sk
Kontakt na pracovisko: tel.: +421 2 44259 279